

Anordnung zur berührungslosen induktiven Übertragung elektrischer Leistung

Publication number: DE4446779

Publication date: 1996-06-27

Inventor: SEELIG ANTON (DE)

Applicant: DAIMLER BENZ AG (DE)

Classification:

- international: **H02J17/00; B60L5/00; H02J5/00; H02J17/00; B60L5/00; H02J5/00; (IPC1-7): H02J17/00**

- European: H02J5/00T

Application number: DE19944446779 19941224

Priority number(s): DE19944446779 19941224

Also published as:

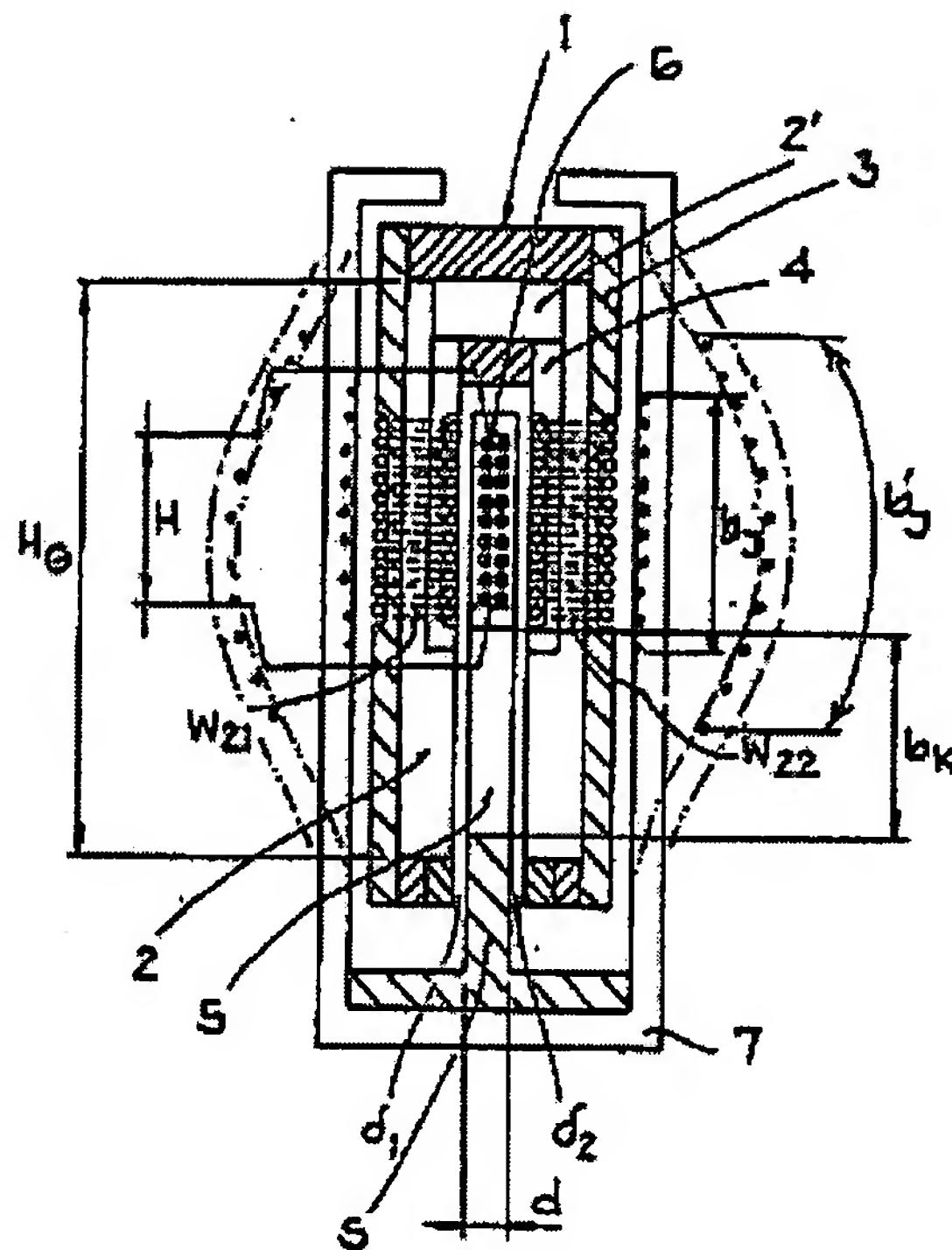
WO9620526 (A1)
EP0799517 (A1)
US6005304 (A1)
EP0799517 (A0)
BR9510377 (A)

more >>

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4446779

A device for the contactless inductive transmission of electric energy to a movable consumer has a stationary primary circuit designed as an arrangement of elongated parallel leads connected to a source of high frequency alternating voltage or current and a transmission head arranged on the movable consumer. The transmission head consists of a ferrite core and of a secondary winding that surrounds the ferrite core and is magnetically coupled to the primary circuit. The primary circuit lead arrangement has an outer lead designed as an almost closed housing (7) and a middle lead (6) arranged approximately at the centre of the housing. The current (I_1) that flows in the outer lead has the same intensity but an opposite flow direction to the current in the middle lead. The middle lead (6) is surrounded by a U-shaped ferrite core (2) that carries the secondary winding (W_2). In order to transmit electric energy independently and at the same time to several movable consumers, a constant medium frequency current (J_1) flows through the transmission device. The current is kept constant in that the transmission arrangement is connected in parallel to a capacitor (CE) connected in series to an inductor (LE) and to a medium frequency voltage source (MFG1). A resonance is created between the inductor (LE) and the capacitor (CE) at the frequency (f_0) of the medium frequency voltage source (MFG1).





⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 46 779 A 1

⑤① Int. Cl.⁶:
H 02 J 17/00

②① Aktenzeichen: P 44 46 779.6
②② Anmeldetag: 24. 12. 94
②③ Offenlegungstag: 27. 6. 96

DE 44 46 779 A 1

⑦① Anmelder:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦② Erfinder:

Seelig, Anton, 65439 Flörsheim, DE

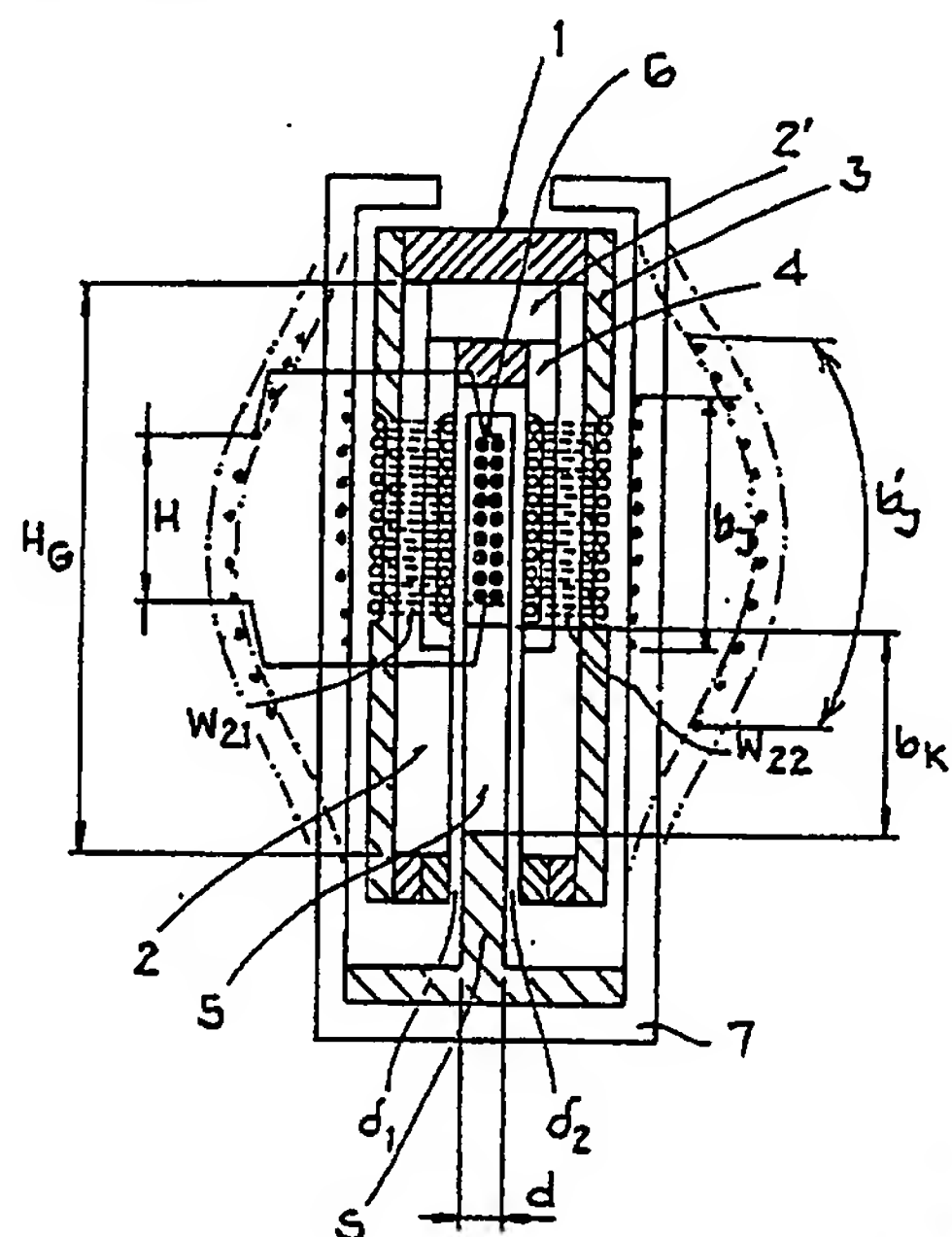
⑤⑥ Entgegenhaltungen:

WO 92 17 929 A1
Patents abstracts of Japan, E-1095, 30. Juli 1991,
Vol. 15, No. 299;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Anordnung zur berührungslosen induktiven Übertragung elektrischer Leistung

⑤⑦ Bei einer Anordnung zur berührungslosen Übertragung elektrischer Leistung auf einen bewegbaren Verbraucher mit einem als langgestreckte parallele Leiteranordnung ausgebildeten ruhenden Primärkreis, der an eine Wechselspannungs- oder Wechselstromquelle einer höheren Frequenz angeschlossen ist und einem am bewegbaren Verbraucher angebrachten Übertragerkopf, der aus einem Ferritkern und einer diesen Ferritkern umfassenden Sekundärwicklung besteht, welche mit dem Primärkreis magnetisch gekoppelt ist, ist vorgesehen, daß die Leiteranordnung des Primärkreises einen als fast geschlossenes Gehäuse (7) ausgebildeten Außenleiter und einen etwa im Zentrum des Gehäuses befindlichen Mittelleiter (6) aufweist, wobei im Außenleiter ein gleich großer, entgegengesetzt gerichteter Strom (I_1) wie im Mittelleiter fließt, und daß der Mittelleiter (6) von einem U-förmigen Ferritkern (2) umfaßt wird, der die Sekundärwicklung (W_2) trägt.



DE 44 46 779 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 96 802 026/758

11/2



Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur berührungslosen induktiven Übertragung elektrischer Leistung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der Elektrie 34, 1980, Heft 7 ist eine Anordnung zur induktiven Energieübertragung auf Grubenlokomotiven bekannt. Bei dieser Anordnung werden Doppelleitungen verwendet, die an der Decke eines Grubenstollens verlegt sind. Zwischen diesen Doppelleitungen l_1, l_1' (s. Fig. 1) werden Ferritkörper 2 bewegt, die eine Sekundärwicklung W_2 tragen, welche die Energie Antrieben und Verbrauchern auf den bewegten Systemen zuführt. Die Ferritkörper mit den Sekundärwicklungen werden nachfolgend auch als Übertragerköpfe bezeichnet.

In dieser Arbeit sind Verfahren zur Kompensation des induktiven Spannungsabfalls auf den Leitungen und an den Streuinduktivitäten der Übertragerköpfe durch in Reihe zur Doppelleitung und den Sekundärwicklungen geschaltete Kondensatoren beschrieben. Die Energie kann auf mindestens zwei bewegbare Verbraucher über dieselbe Doppelleitung übertragen werden. In der jap. Anmeldung PCT-GB-92/00220 wird eine Doppelleitung beschrieben, bei der die Leiter l_1 und l_1' (s. Fig. 1 und 2) auf Leiterstützen S_1 und S_1' aus magnetisch und elektrisch nichtleitendem Material befestigt sind. Die Doppelleitung wird von einem E-förmigen Ferritkern 2 umgeben, dessen Mittelschenkel MS tief in den Raum zwischen den Leitern hineinragt und die Sekundärwicklung W_2 trägt, über die Energie abgenommen und dem bewegten Verbraucher zugeführt wird. Die dort bekannte induktive Energieübertragungsanordnung besteht im einfachsten Fall aus einem Mittelfrequenzgenerator, der eine Leiterschleife aus den Leitern l_1 und l_1' mit einem Strom höherer Frequenz, beispielsweise im kHz-Bereich, speist, wobei die beiden Leiter eine Doppelleitung bilden.

Fig. 1 zeigt eine derartige Leiteranordnung und einen bewegbaren Verbraucher in Draufsicht, in dessen Mittelteil der Übertragerkopf 1 montiert ist, der aus einem E-förmigen Ferritkern 2 mit der Sekundärwicklung W_2 auf dem Mittelschenkel MS besteht. Damit der Übertragerkopf oder die Übertragerköpfe möglichst klein bleiben, ist eine relativ hohe Frequenz erforderlich, die mindestens 10 KHz beträgt.

Anordnungen mit gestreckten Leitern werden als Linienleiter- oder als Linienpolsysteme bezeichnet, weil der sich quer zur Bewegungsrichtung schließende magnetische Wechselfluß längs des Leiters stets einheitlich gerichtet ist und somit linienförmige Pole bildet. Der bewegte Übertragerkopf besteht bei Doppelleitungen meistens aus einem E-förmigen Ferritkern, der beide Leiter des Stators umschließt und den magnetischen Fluß durch die Sekundärwicklung leitet.

Für derartige Energieübertragungen gibt es verschiedene Anwendungsgebiete. So ist beispielsweise eine Übertragung mit Schleifkontakten mit Funkenbildung, Verschleiß und Geräuschen verbunden. Bedeutende Anwendungen für die berührungslose Übertragung elektrischer Energie bestehen bei Laufkatzen von Hebezeugen, Hochregallagern oder Magnetbahnen. Auch für Fahrstühle wäre ein solches System zur Energieübertragung in die Kabine von Vorteil. Roboter, die eine bestimmte Wegstrecke abfahren müssen, um an verschiedenen Einsatzorten tätig zu sein, können ebenfalls mit einem solchen System mit Energie versorgt werden.

Bei einer Anordnung nach Fig. 1 speist der Mittelfre-

quenzgenerator MFG den Strom I mit einer Frequenz über 10 KHz in die aus l_1 und l_1' bestehende Leiterschleife ein. Diese Leiterschleife erzeugt Streufelder, die in Fig. 1 mit Φ_0 und Φ_0' bezeichnet sind.

Im vorderen Teil der Leiterschleife ist außerdem die aus l_1 und l_1' bestehende Doppelleitung durch ein Aluminiumgehäuse oder Abschirmgehäuse abgeschirmt. Abschirmungen sind im wesentlichen erforderlich, um eine weitere Ausbreitung des Streufeldes Φ_0 zu verhindern, da es Störungen z. B. in benachbarten Signalstromkreisen erzeugt und die elektromagnetische Verträglichkeit beeinflusst. Bei großen Leistungen kann auch die Gefahr einer Gesundheitsschädigung bestehen.

Im hinteren Teil der Fig. 1 zeigen die angedeuteten Streuflüsse Φ_0 und Φ_0' an, daß das Feld ohne Abschirmgehäuse wesentlich weiter in die Umgebung ausstreut.

Der größte Nachteil dieser Anordnung ist die hohe Induktivität der aus den Leitern l_1, l_1' bestehenden Doppelleitung. Neben der unbehinderten Ausbreitung der Streufelder bei nicht geschirmten Doppelleitungen ist der relativ große Abstand D der Leiter l_1 und l_1' die Hauptursache für die hohe Induktivität. Dieser Abstand D muß aber eine Mindestgröße haben, damit der Mittelschenkel MS des E-Kernes, der die Sekundärwicklung W_2 trägt, zwischen den Leitern l_1 und l_1' geführt werden kann. Dabei ist der Raumbedarf des Mittelschenkels und der Sekundärwicklung und damit auch der Abstand D durch die zu übertragende Leistung bestimmt.

Bei den hohen Übertragungsfrequenzen verursachen die Leitungsinduktivitäten hohe induktive Spannungsabfälle, die durch einen hohen Aufwand an Kondensatoren kompensiert werden müssen.

Die Induktivität der Doppelleitung wirkt sich auch entscheidend auf die realisierbare Länge des Fahrweges der bewegten Systeme aus. U. a. ist die Anordnung sehr aufwendig, da sie neben der Doppelleitung noch ein zusätzliches Abschirmgehäuse benötigt. Die Leiter l_1 und l_1' der Doppelleitung selbst müssen, um Stromverdrängungsverluste zu vermeiden, aus einer in der Hochfrequenztechnik üblichen Hochfrequenzlitze bestehen, die aus einzelnen isolierten Einzelleitern hergestellt ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer Anordnung zur berührungslosen Übertragung elektrischer Leistung auch bei großen Längen der Leitung eine niedrige Induktivität der Leitung zu realisieren.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 aufgeführten Merkmale gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Bei der Erfindung handelt es sich um eine induktive Energieübertragung bei Mittelfrequenz auf translatorisch bewegte Transportelemente der Fördertechnik und auf mobile Arbeitsplattformen.

Das gleichzeitige, unabhängige Übertragen elektrischer Leistung zu mehreren Transportelementen auf langen Übertragungsstrecken bei Einzelleistungen bis in den 10 kW-Bereich sind wesentliche Kennzeichen dieser Anwendungen. Hierfür sind Übertrageranordnungen erforderlich, welche die Leistung über Luftspalte bis in den cm-Bereich bei vertretbarem Aufwand und gutem Wirkungsgrad übertragen, möglichst kleine induktive Spannungsabfälle auf den Übertragungsstrecken aufweisen und bei denen ausstreuende magnetische Felder im Hinblick auf die Exposition des Menschen und die elektromagnetische Verträglichkeit unbedenklich sind. Diese Eigenschaften werden im wesentlichen durch die geometrische Gestaltung der induktiven Übertragerelemente erreicht.



Das Wesen der Erfindung wird in der "koaxialen" Anordnung der Leiter gesehen. Der Mittelleiter ist am Ende des Fahrweges mit dem U-förmigen Außenleiter verbunden, so daß der Strom vom Mittelleiter über die Außenwandungen zurückfließt. Der Strom verteilt sich auf zwei Außenwände. Trotz der niedrigen Eindringtiefe findet der Strom einen großen Querschnitt vor. Die koaxiale Anordnung gewährleistet zum einen eine möglichst kleine Induktivität der Leitung, so daß größere Übertragungslängen möglich sind und erfüllt gleichzeitig auch die Abschirmung der Anordnung gegenüber austretenden Feldern. Das Streufeld Φ_0 liegt im wesentlichen nur innerhalb des Koaxialleiters und zwar im Inneren des Mittelleiters und um diesen herum.

Da das Abschirmgehäuse mit der Rückleitung vereint ist, hat man einen zusätzlichen Vorteil dadurch, daß Leitermaterial eingespart wird. Man spart außerdem wegen der kleineren Induktivitäten Kondensatoren zur Kompensation der induktiven Spannungsabfälle. Das begründet die niedrige Induktivität.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert.

Dabei zeigt:

Fig. 1 eine Anordnung zur Energieübertragung auf bewegbare Verbraucher, die über eine längere Strecke linear bewegt werden, nach dem Stand der Technik;

Fig. 2 einen Querschnitt durch die aktiven Teile des Übertragungskopfes nach dem Stand der Technik;

Fig. 3 die erfindungsgemäße Anordnung des offenen Koaxialleiters im Längsschnitt bzw. in Draufsicht;

Fig. 4 einen Querschnitt durch den koaxialen Leiter mit dem Übertragerkopf;

Fig. 5 den Querschnitt durch die Koaxialleiteranordnung an einer Stelle, an der sich im Augenblick kein bewegtes System befindet;

Fig. 6 eine besonders vorteilhafte, detaillierte Ausführungsform einer Koaxialleiteranordnung mit Übertragerkopf im Querschnitt;

Fig. 7 eine allgemeine Darstellung des erfindungsgemäßen Prinzips zur induktiven Energieübertragung auf linearbewegte Systeme;

Fig. 8 ein elektrisches Ersatzschaltbild der Übertrageranordnung nach Fig. 7;

Fig. 9 ein Zeigerdiagramm der Spannungen, Ströme und Phasenwinkel des Ersatzschaltbilds nach Fig. 8;

Fig. 10 eine Koaxialleiteranordnung mit in sich geschlossener Bahn für die endlose Bewegung mehrerer Verbraucher und einer die Ströme im Innen- und Außenleiter symmetrisierenden Speiseschaltung;

Fig. 11 eine Koaxialleiteranordnung entsprechend Fig. 5 mit einem aus mehreren Windungen bestehenden Innenleiter und stromsymmetrisierender Speiseschaltung;

Fig. 12 die Realisierung einer stromeinprägenden Quelle zur Speisung der Übertrageranordnungen;

Fig. 13 ein elektrisches Ersatzschaltbild der Übertrageranordnung nach den Fig. 11 und 12 mit elektronischem Verbraucherstellglied und

Fig. 14 ein Diagramm der Strom- und Spannungszeiger des Ersatzschaltbildes nach Fig. 13.

Die Erfindung wird zunächst anhand der schematischen Darstellung in Fig. 2 beschrieben. Sie stellt eine zu einer Seite hin offene koaxialleiterähnliche Anordnung dar. Im Übertragerkopf 1 umfaßt ein U-förmiger Ferritkern 2 den Mittelleiter 6 und leitet den magnetischen Fluß Φ durch die Sekundärwicklung W_2 . Der Mittelleiter 6 wird an einem Ende über einen Mittelfrequenzgenerator gespeist, so daß er den Strom I_1 führt. Er ist an

dem von der Speisequelle entfernten Ende E mit dem Gehäuse verbunden.

Der Strom teilt sich hier wegen der Symmetrie der Anordnung in zwei gleichgroße Teilströme $I_1/2$ und fließt über das Gehäuse zu dem Mittelfrequenzgenerator MFG zurück.

Infolge der bei hohen Frequenzen in massiven Leitern wie dem U-förmigen Gehäuse (beispielsweise aus Aluminium) auftretende Stromverdrängung, häufig auch als Skineffekt bezeichnet, verteilt sich der Strom nicht gleichmäßig in den Gehäusewandungen, sondern dringt von innen her nur der Eindringtiefe δ_E entsprechend in die Gehäusewandungen ein. Die Eindringtiefe beträgt bei 25 kHz und Aluminium etwa 0,5 mm. Der Strom verteilt sich auch nicht gleichmäßig über den inneren Umfang des U-Profils, sondern fließt vorwiegend an den Stellen der größten magnetischen Feldstärken. Auf den Streckenabschnitten, an denen sich kein Übertragerkopf befindet, wie in Fig. 2c dargestellt, sind das die dem Mittelleiter 6 gegenüber und am nächsten liegenden Stromführungsgebiete der Ausdehnung b_1 . Für die Rückleitung steht daher nur ein Querschnitt zur Verfügung, der sich aus der stromführenden Breite b_1 und der durch die Frequenz und die Materialeigenschaften bestimmten Eindringtiefe δ_E des Mittelfrequenzstromes ergibt.

Der Innen- oder Mittelleiter 6 wird vorteilhafterweise aus Mittelfrequenzlitze oder Hochfrequenzlitze hergestellt, um die Stromverdrängung in diesem Bereich zu eliminieren.

Durch die begrenzte Eindringtiefe des Stromes und die ungleichmäßige Verteilung der Stromdichte auf den Innenseiten des Abschirmgehäuses können der wirksame Widerstand und die Verluste in der Rückleitung 7 größer als in dem Innenleiter 6 aus Mittelfrequenzlitze sein.

Durch die Formgebung von Innenleiter und dem Rück- oder Außenleiter, der gleichzeitig als Abschirmung und Gehäuse 7 dient, ist daher ein möglichst breiter Stromführungsgebiet der Breite b_1 am inneren Gehäuseumfang anzustreben. Dies geschieht am zweckmäßigsten in einer Form, wie Fig. 3 zeigt, indem der Innenleiter 6 schmal und mit einer möglichst großen Höhe H ausgeführt wird. Außerdem wird mit einer Wölbung der Außenwandungen, wie in Fig. 3 gestrichelt dargestellt, eine Vergrößerung der Stromführungsweite b_1 und eine gleichmäßigere Stromverteilung erreicht.

Die Abmessungen der gesamten Übertrageranordnung und die zum Übertragen einer bestimmten Leistung erforderliche Stromstärke I werden entscheidend durch die Größe des wirksamen Luftspalts im magnetischen Kreis bestimmt.

Damit der Luftspalt des magnetischen Kreises der den magnetischen Fluß Φ führt, nicht größer sein muß als das mechanische Spiel δ_1 und δ_2 des Übertragerkopfes, können in die Stütze S des Mittelleiters Ferritkörper 5 eingesetzt werden. Diese Ferritteile erhöhen die Induktivität des Mittelleiters praktisch nicht, weil sich der Strom in den Seitenwänden nach physikalischen Gesetzen stets räumlich so einstellt, daß die Induktivität ein Minimum wird, d. h. der Strom vorwiegend auf den den Mittelleitern gegenüberliegenden Seitenteilen fließt.

Bei dem U-förmigen Ferritkern 2 in Fig. 6 besteht die Sekundärwicklung aus zwei Teilwicklungen W_{21} und W_{22} , die auf beiden Schenkeln des Kerns direkt gegenüber dem in der Höhe H ausgedehnten Innenleiter angeordnet sind. Durch diese Wicklungsanordnung wird ein hoher magnetischer Koppelfaktor zum Primärleiter



6 und eine optimale Ausnutzung des verfügbaren Wickelraums bei kleiner Bauform und Induktivität des Koaxialleiters erreicht. Ein großer Wickelraum für die Sekundärwicklung ist, wie anhand der Fig. 7 bis 9 näher erläutert wird, im Hinblick auf große realisierbare Spaltweiten oder große übertragbare Leistungen besonders wichtig. Das rührt daher, daß bei der erfindungsgemäßen Übertrageranordnung der Magnetisierungsstrom I_M , der bei großen Spaltweiten entsprechend große Werte erreicht, in den Sekundärwicklungen W_{21} , W_{22} fließt.

Das vereinfachte und verallgemeinerte Übertragungssystem in Fig. 7 besteht aus der primärseitigen Leiterschleife von der Länge l , die durch das Fenster eines C-förmigen Ferritkerns 2 verläuft. Er ist entlang der Leiterschleife beliebig verschiebbar. Der Ferritkern wird von der Sekundärwicklung mit der Windungszahl W_2 umschlossen. Sie ist mit einem Kondensator C_2 in Reihe geschaltet, der so bemessen ist, daß die Spannung an der sekundärseitigen Streuinduktivität L_2 bei der Frequenz des Mittelfrequenzgenerators MFG kompensiert wird.

Die primäre Leiterschleife kann aus einer oder mehreren Windungen W_1 bestehen, in denen ein Strom I_1 fließt. Er teilt sich — dem Übertragerersatzschaltbild in Fig. 8 entsprechend — in den Magnetisierungsstrom I_M und in sekundärseitigen Ersatzstrom I_2' .

Am Ausgang des Übertragers ist eine beliebige Last Z , beispielsweise mit einem Stromrichterstellglied, angeschlossen, das zwischen der Spannung U_2 der Grundschwingung des Eingangstromes I_E einen beliebigen Phasenwechsel einstellen kann. Das Zeigerdiagramm in Fig. 7 zeigt die Ströme, Spannungen und Phasenwinkel für einen beliebig angenommenen Betriebszustand. In der Darstellung wurde ein um den Winkel γ gegenüber der Ausgangsspannung U_2 bzw. U_2' nacheilender Strom I_E bzw. I_E' also eine ohmsch-induktive Lastimpedanz Z bzw. Z' angenommen.

Die im Ersatzschaltbild durch ' gekennzeichneten Größen sind, wie von Übertragern und Transformatoren allgemein bekannt, die mit dem Übersetzungsverhältnis der Windungszahlen W_1/W_2 auf die primäre Windungszahl umgerechneten Größen.

Da die Übertrageranordnung mit einer konstanten Frequenz betrieben wird, ist die vollständige Kompensation der induktiven Spannungsabfälle an der sekundärseitigen Streuinduktivität L_2' durch die in Reihe geschaltete Kapazität C_2' und an der Induktivität L_0 der koaxialen Leiteranordnung durch die Kapazität C_K möglich. Bei Vernachlässigung der ohmschen Spannungsabfälle sind dann, wie im Zeigerdiagramm in Fig. 9 dargestellt, die Lastspannung U_2' die Hauptfeldspannung U_H des Übertragers und die Speisespannung U_1 der Anordnung gleich. Die zur Lastimpedanz Z' parallel liegende Kapazität C' kompensiert, wie Fig. 9 zeigt, nicht nur den Magnetisierungsstrom I_M sondern auch noch einen Teil der induktiven Komponente des Laststromes I_E' . Durch die Einstellung des Lastwinkels γ , beispielsweise mit einem Stromrichter, und die Dimensionierung der sekundärseitigen Kapazität C bzw. C' kann ein Phasenwinkel $\Phi=0$ zwischen dem Strom I_1 des offenen Koaxialleiters und der Speisespannung U_1 der Übertrageranordnung eingestellt werden. Der offene Koaxialleiter überträgt dann reine Wirkleistung, obwohl ein großer durch die Spaltbreite der Übertrageranordnung bedingter Magnetisierungsstrom I_M auftritt und die Induktivität L_0 des Koaxialleiters bei Leiterlängen l im 100 m-Bereich große Werte erreicht. Lediglich

der sekundäre Strom I_2' in der entsprechend der Übertragerkopflänge l_K wesentlich kürzeren Sekundärwicklung W_2 ist durch den Magnetisierungsstrom I_M erhöht.

Für viele Anwendungen der berührungslosen Energieübertragung, wie z. B. auch in der Fördertechnik, werden Übertrageranordnungen benötigt, bei denen sich mehrere Verbraucher mit beliebig veränderbarem Leistungsbedarf auf derselben Übertragungsstrecke bewegen können. Das Einsetzen mehrerer Übertragerköpfe in den offenen Koaxialleiter der Fig. 3 oder in die primäre Leiterschleife 6, die in Fig. 7 dargestellt ist, führt elektrisch zu einer Reihenschaltung der bewegbaren Verbraucher. In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird in den Koaxialleiter ein konstanter Mittelfrequenzstrom I_1 eingepreßt. Wie später noch erläutert wird, sind dazu elektronische Leistungsteilglieder mit Vorteil zu verwenden, welche ausgangseitig unterschiedliche Verbraucher mit den erforderlichen Spannungen und Strömen speisen. Auf der Eingangsseite werden in den Kreis des eingepreßten konstanten Stroms des Koaxialleiters I_1 den Windungen der Verbraucher VB_1 , VB_2 entsprechende Spannungen U_{V1} , U_{V2} eingepreßt.

Darüber hinaus sind in sich geschlossene Übertragungsstrecken, auf denen die Verbraucher endlose Bewegungen ausführen, von Vorteil. Dabei treffen, wie in Fig. 10 gezeigt ist, an einer Einspeisestelle zwei Enden des Koaxialleiters mit insgesamt vier Anschlüssen A, B, B' und C zusammen, die an einen Mittelfrequenzgenerator MFG anzuschließen sind. Dieser hat die Eigenschaft einer Mittelfrequenz-Konstantstromquelle (siehe Fig. 10) und prägt seinen Strom I in die Primärwicklung W_3 eines aus dieser und den Sekundärwicklungen W_4 und W_5 bestehenden Transformators ein.

Die beiden Sekundärwicklungen W_4 und W_5 haben die gleichen Windungszahlen und sind mit ihren Windungsenden a, b, b' und c über Kompensationskondensatoren K_3 , K_1 in der Weise an die Koaxialleiterenden A, B, B' und C angeschlossen, daß die Sekundärwicklungen mit dem Innen- und Außenleiter (über die Verbindungen a, W_4 , b, B, Außenleiter 7, B', b', W_5 , c, K_1 , C, Innenleiter 6, A, K_3 , a) einen Stromkreis bilden, in dem der Innen- und Außenleiter von demselben Strom $I_1 = I_1'$ in entgegengesetzter Richtung geschlossen werden. Außerdem wirkt dieser Strom in den Sekundärwicklungen W_4 und W_5 zu gleichen Teilen additiv auf die Primärwicklung W_3 dem Transformators zurück und an den Anschlüssen A, C des Innenleiters treten gegenüber den Außenleiteranschlüssen B, B' gleich große in der Phasenlage entgegengesetzte Spannungen der Größe $U_{K3} - \frac{1}{2} U_1$ und $-(U_{K1} - \frac{1}{2} U_1)$ auf.

Bei dem offenen Koaxialleiter einer endlosen Übertragungsstrecke nach Fig. 10 bilden das Gehäuse, d. h. der Außenleiter des offenen Koaxialleiters, mit den Anschlußpunkten B, B', b, b' bezüglich des Potentials einen neutralen Mittelpunkt. Es ist aus Gründen der Sicherheit gegen elektrischen Schlag und wegen der elektromagnetischen Verträglichkeit von Vorteil, diesen neutralen Mittelpunkt mit der Masse bzw. der Erde zu verbinden. Dies geschieht am zweckmäßigsten, wie in Fig. 10 gestrichelt angedeutet, an der Einspeisestelle und dort aus Symmetriegründen an dem Verbindungspunkt b — b' der beiden gleichen Sekundärwicklungen W_4 und W_5 . Durch diese Verbindung entsteht jedoch über die Anschlußpunkte B, B' und die vom Außenleiter 7 gebildete große Schleife ein zusätzlicher Stromkreis, in dem ein Ausgleichsstrom ΔI_1 fließen kann. Durch diesen Ausgleichsstrom werden die Ströme I_1 und I_1' im



Innen- und Außenleiter des Koaxialleiters ungleich, und es entsteht in der Umgebung des Koaxialleiters ein zusätzliches, die elektromagnetische Verträglichkeit negativ beeinflussendes Streufeld. Zur Vermeidung dieses Ausgleichsstromes, d. h. zur Sicherstellung der Gleichheit der Ströme I_1 und I_1' des Koaxialleiters werden die Zuleitungen dieser Ströme über Kompensationsdrosseln KD1 und KD2 in der Weise geführt, daß der Strom I_1 des Innenleiters und der Strom I_1' des Außenleiters eine entgegengesetzte Magnetisierung der weichmagnetischen Drosselkerne mit hoher magnetischer Permeabilität bewirken. Die hohe Induktivität dieser Kompensationsdrosseln ist bei I_1 gleich I_1' bzw. ΔI_1 gleich Null unwirksam und begrenzt eine mögliche Ungleichheit auf vernachlässigbare Werte von ΔI_1 . Die Kompensationsdrosseln KD1 und KD2 sind sehr einfach aus Ferritringkernen, die über die Zuleitungen der Koaxialleiter geschoben werden, herstellbar.

Der Einsatz der Kompensationsdrosseln bei der Speisung von in sich geschlossenen Übertrageranordnungen mit offenem Koaxialleiter ermöglicht auch — wie anhand der Fig. 11 gezeigt wird — die Realisierung von offenen Koaxialleitern mit aus mehreren Windungen bestehenden Innenleitern.

Für die Wirkungsweise der koaxialen Übertrageranordnung ist wesentlich, daß in den Wänden des Koaxialleiters der Gesamtstrom $W_1 \cdot I_1$ in entgegengesetzter Richtung zu I_1 im Innenleiter fließt.

Die Gleichheit der Gesamtströme von Innen- und Außenleiter wird dadurch erreicht, daß die zu dem Transformator T bzw. der Mittelfrequenzstromfalle MFG1 führenden Anschlußleitungen A-a, C-c in so vielen Windungen um die Kerne der Kompensationsdrosseln KD1, KD2 gewunden werden, daß zwischen diesen Windungen und den ebenfalls durch die Kerne der Kompensationsdrosseln geführten Anschlußleitungen B-b, B'-b der Koaxialleiter Außenwindungen ein Übersetzungsverhältnis von W_1 entsteht. In dem in Fig. 11 dargestellten Beispiel sind die Anschlußleitungen des Koaxialleiters nur einmal durch die Kerne der Drosseln KD1, KD2 geführt, die Innenleiteranschlußleitungen sind daher genau W_1 -mal um die Drosselkerne gewunden. Der Verbindungspunkt b der Außenleiteranschlußleitungen ist auch hier der Symmetriepunkt der gesamten Übertrageranordnung und daher an den sekundärseitigen Mittelabgriff des Transformators sowie an den Massepunkt bzw. die "Erde" angeschlossen.

Der Transformator T in Fig. 10 und Fig. 11 dient im wesentlichen der Bildung der beiden gleich großen Teilspannungen $\frac{1}{2} U_1$ und der Anpassung der Impedanz der Übertrageranordnungen an die Mittelfrequenzstromquelle MFG. Mittelfrequenzstromquellen werden im allgemeinen aus einer Mittelfrequenzspannungsquelle, beispielsweise einem Mittelfrequenzwechselrichter mit einer Stromregelung realisiert und sind daher sehr aufwendig.

Eine besonders einfache Speiseschaltung mit strom-einprägendem Verhalten, die von einer Mittelfrequenzspannungsquelle MFG1, beispielsweise einem Wechselrichter ohne aufwendige Stromregelung ausgeht, ist in Fig. 12 dargestellt. Bei diesem Schaltungsprinzip wird die Teilung der Spannung U_1 in zwei gleichgroße Teilspannungen durch die Reihenschaltung von zwei gleichgroßen Kondensatoren mit der Kapazität $2 C_E$ erreicht. Die äußeren Anschlüsse a, c dieser Reihenschaltung sind über Induktionsspulen mit der Induktivität $\frac{1}{2} L_E$ an eine Mittelfrequenzspannungsquelle MFG1 mit der Spannung U_0 angeschlossen.

Es läßt sich rechnerisch nachweisen, daß für die Schaltungsanordnung die Beziehung

$$I_1 = U_0 \cdot \sqrt{C_E / L_E}$$

gilt. Dabei sind C_E und L_E so gewählt, daß sie für die Frequenz f_0 der Mittelfrequenzspannungsquelle MFG1 die Resonanzbedingung erfüllen.

In diesem Fall wird in den Koaxialleiter ein Strom I_1 eingeprägt, dessen Stärke allein durch die Spannung U_0 und die Größen C_E und L_E bestimmt ist. Die sich an den Klemmen a, c einstellende Spannung U_1' hängt ausschließlich von der Größe des Stromes I_1 und Impedanz des an die Klemmen a, b, c angeschlossenen Übertragungssystems mit den Verbrauchern VB1 und VB2 ab. Die Spannung U_1 ist, wie anhand des Ersatzschaltbildes der Fig. 13 und des Zeigerdiagramms Fig. 15 gezeigt wird, die Summe mehrerer Teilspannungen. Bei annähernd vollständiger Kompensation des Übertragungssystems ist sie im wesentlichen durch die Spannungen der Verbraucher VB1 und VB2 bestimmt. Wegen des stromeinprägenden Verhaltens der aus MFG1, L_E , C_E gebildeten Speiseschaltung wirkt die Spannung U_1 auf den Strom I_1 nicht zurück.

In dem Ersatzschaltbild der Fig. 13 sind die in Fig. 12 aus Symmetriegründen geteilten Kapazitäten und Induktivitäten in jeweils einer Kapazität C_E und einer Induktivität L_E vereint. Die zwischen den Kompensationskondensatoren K_1 bis K_3 und den bewegbaren Verbrauchern VB1 und VB2 liegenden Abschnitte des offenen Koaxialleiters sind in dem Ersatzschaltbild Fig. 13 durch die Induktivitäten L_{01} , L_{02} , L_{03} und L_{04} der entsprechenden Leiterabschnitte dargestellt. Am Ort der bewegbaren Verbraucher VB1 und VB2 bilden die Übertragerköpfe mit ihren Ferritkernen, wie anhand der Fig. 7 bis 9 gezeigt wird, die berührungslosen Übertrager mit den Hauptinduktivitäten L_{H1} und L_{H2} . Zur Erläuterung der individuellen Steuerung und Regelung des Leistungsflusses der einzelnen, über einen gemeinsamen Koaxialleiter gespeisten Verbraucher, ist für den Verbraucher VB2 das Ersatzschaltbild des Übertragerkopfes mit einer Leistungsstell- und Regeleinrichtung dargestellt. Die sekundärseitige Streuinduktivität L_2' und der Magnetisierungsstrom I_μ des Übertragerkopfes sind den Fig. 7 bis 9 entsprechend durch die Kapazitäten C_2' und C' kompensiert, so daß bei der Resonanzfrequenz f_0 des Mittelfrequenzgenerators MFG1 die Induktivität L_2' mit C_2' einen Reihenschwingkreis in Resonanz und L_{H2} mit C' einen Parallelschwingkreis in Resonanz bilden.

Bei dieser vollständigen Kompensation des Übertragerkopfes sind der Strom I_1 des Koaxialleiters und die Grundschiwingung des Stromes I_E' am Eingang der zur Kapazität C' parallel liegenden Gleichrichterbrücke GB identisch.

Dieser Strom fließt im Gleichstromzwischenkreis als Gleichstrom i_z über die Induktivität L_z und abwechselnd über die Diode D oder den steuerbaren Halbleiterschalter S. Das richtet sich danach, ob der Schalter S sperrt oder leitet. Bei gesperrtem Schalter S wird der Strom i_z über die Diode D einem Gleichspannungspufferkondensator C_G zugeführt, bei leitendem Schalter dagegen an dem Kondensator C_G vorbeigeleitet. Eine Regeleinrichtung RG steuert den Schalter S mit einer hohen Taktfrequenz abwechselnd in den leitenden und sperren den Zustand, wobei die relativen Sperrzeiten so eingestellt werden, daß an einem oder mehreren Gleichspannungs-



verbrauchern V_{BG} bei beliebiger Stromaufnahme die gewünschte Spannung U_G gebildet wird. Wegen der Einprägung der Ströme I_1 und I_2' stellt sich dabei an der Hauptinduktivität L_{H2} die Spannung U_{V2} so ein, daß das Produkt $U_{V2} \cdot I_1$ dem Leistungsverbrauch entspricht.

Fig. 14 zeigt das Zeigerdiagramm zu dem Ersatzschaltbild eines Gesamtsystems nach Fig. 13. Die Teilspannungen U_{01} , U_{02} , U_{03} und U_{04} an den Induktivitäten der Koaxialleiterabschnitte sind durch Strichpunktlinien dargestellt und haben gegenüber dem punktierten Koaxialleiterstrom I_1 eine um 90° vorausseilende Winkellage. Sie werden durch die gestrichelten Spannungspfeile U_{K1} , U_{K2} und U_{K3} weitgehend kompensiert. An den Stellen, an denen sich gerade ein bewegbarer Verbraucher befindet, entstehen an den Hauptinduktivitäten L_{H1} und L_{H2} der Übertragerköpfe entsprechend der übertragenen Leistung die ausgezogenen und mit dem Koaxialleiterstrom I_1 weitgehend phasengleichen Spannungen U_{V1} und U_{V2} . Wegen der nahezu vollständigen Kompensation der Übertragerkopf- und Koaxialleiterinduktivitäten ist die Eingangsspannung U_1 des Koaxialleiters ebenfalls annähernd phasengleich mit dem Koaxialleiterstrom und etwa gleich der Summe der Spannungen U_{V1} und U_{V2} an den elektrisch in Reihe geschalteten Übertragerköpfen.

Patentansprüche

1. Anordnung zur berührungslosen Übertragung elektrischer Leistung auf einen bewegbaren Verbraucher mit einem als langgestreckte parallele Leiteranordnung ausgebildeten ruhenden Primärkreis, der an eine Wechselspannungs- oder Wechselstromquelle einer höheren Frequenz angeschlossen ist und einem am bewegbaren Verbraucher angebrachten Übertragerkopf, der aus einem Ferritkern und einer diesen Ferritkern umfassenden Sekundärwicklung besteht, welche mit dem Primärkreis magnetisch gekoppelt ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiteranordnung des Primärkreises einen als fast geschlossenes Gehäuse (7) ausgebildeten Außenleiter und einen etwa im Zentrum des Gehäuses befindlichen Mittelleiter (6) aufweist, wobei im Außenleiter ein gleichgroßer, entgegengesetzt gerichteter Strom (I_1) wie im Mittelleiter fließt, und daß der Mittelleiter (6) von einem U-förmigen Ferritkern (2) umfaßt wird, der die Sekundärwicklung (W_2) trägt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der U-förmige Ferritkern (2) auf beiden Schenkeln dem primärseitigen Leiter gegenüberliegende Wicklungen (W_{21} , W_{22}) trägt, deren Höhe etwa der Höhe (H) des Primärleiters entspricht und zwischen dem 0,3fachen und 0,5fachen der Gesamthöhe (H_G) des U-förmigen Kerns (2) liegt.
3. Anordnung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (H) des Primärleiters (6) im Verhältnis zur neben dem Leiterbereich liegenden Durchtrittsbreite (b_K) des magnetischen Flusses so gewählt ist, daß die übertragene Leistung maximal ist.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Mittelleiter (6) gegenüberliegenden Außenwandungen des Gehäuses (7) zur möglichst gleichmäßigen Verteilung des Stromes über einen möglichst breiten Stromführungsbereich (b_1 , b_1') eine Wölbung aufweisen.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Querschnitte von Außenleiter und Mittelleiter und die Durchtrittsbreite (b_n) des magnetischen Flusses geometrisch so gestaltet und die Größenverhältnisse so bemessen sind, daß die elektrische Verlustleistung ein Minimum erreicht.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelsteg (S) in der Nähe des Fußes zum Reduzieren der magnetischen Spaltweite auf die unbedingt erforderlichen mechanischen Luftspalte (δ_1 , δ_2) einen ferritischen Bereich (5) etwa von der Breite (b_K) aufweist.
7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß an die Sekundärwicklung (W_2) parallel zum Lastwiderstand (Z) ein Kondensator (C) geschaltet ist, der den Magnetisierungsstrom zum Erzeugen der magnetischen Flußdichte (B) im Luftspalt des Ferritkerns liefert.
8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sekundärwicklung mit dem Kondensator (C_2) in Reihe geschaltet ist, der den induktiven Spannungsabfall an der Streuinduktivität des Übertragerkopfes kompensiert.
9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelleiter (6) am Ende (E) der Strecke, die ein bewegbarer Verbraucher maximal zurücklegt, mit dem Außenleiter, d. h. dem Gehäuse, verbunden ist und ein Mittelfrequenzgenerator (MFG) am Anfang der Strecke den Strom (I_1) zwischen Mittelleiter und Gehäuse einspeist.
10. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Länge der Wegstrecke und primären Leiteranordnung mehr als 100 m beträgt.
11. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Primärkreis eine beliebig verlaufende, in sich geschlossene endlose Bahn bildet, welche eine lückenlose Energieübertragung auf mehrere bewegbare Verbraucher ermöglicht und daß an den Anschlüssen (A, B, B', C) des Primärkreises ein Netzwerk (8) den vom Mittelfrequenzgenerator (MFG) gelieferten Speisestrom (I , I_1 , I_1') in entgegengesetzten Richtungen in den Mittelleiter (6) und den Außenleiter (7) einleitet.
12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Netzwerk (8) zur Einkopplung gleichgroßer entgegengesetzter Ströme (I_1 , I_1') in den Mittelleiter (6) und den Außenleiter (7) einer in sich geschlossenen Bahn einen Transformator (T) mit zwei Sekundärwicklungen (W_4 , W_5) mit gleichen Windungszahlen enthält, deren mittleren, einen Spannungsmittelpunkt bildenden Enden (b , b') über die Anschlüsse (B, B') des koaxialen Außenleiters miteinander verbunden sind und deren äußeren gegenphasigen Eingänge (a, c) über die Anschlüsse (A, C) an den Mittelleiter (6) angeschlossen sind.
13. Anordnung nach den Ansprüchen 11 und 12, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils an den Innen- und Außenleiter eines oder beider Enden (A, B), (B', C) der primärseitigen Leiteranordnung angeschlossenen Zuleitungspaare über Kompensationsdrosseln (KD_1 , KD_2) geführt werden, welche die Gleichheit der Ströme (I_1 , I_1') im Mittel- und



Außenleiter bewirken.

14. Anordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuleitungen zu den Außenleiteranschlüssen (B, B') vor der Durchführung durch die Kompensationsdrosseln (KD1, KD2) auf der von den Außenleiteranschlüssen (B, B') abgewandten Seiten der Kompensationsdrosseln an einen gemeinsamen Verbindungspunkt (b) geführt sind, wobei der gemeinsame Verbindungspunkt (b) wahlweise potentialfrei, d. h. isoliert ist, oder mit dem Mittelabgriff der Mittelfrequenzquelle und/oder mit dem Masse- bzw. Endpotential verbunden ist.

15. Anordnung nach Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelleiter (6) aus mehreren Windungen (W_1) besteht und die Gleichheit der Gesamtströme ($I_1 \cdot W_1$) im Mittelleiter und des Stromes (I_1') im Außenleiter dadurch erreicht wird, daß das Windungszahlverhältnis der Kompensationsdrosseln (KD1, KD2) mit der Windungszahl (W_1) des Mittelleiters (6) übereinstimmt.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Netzwerk (8) zur Symmetrisierung der Stromeinspeisung an mehreren Stellen der endlosen Bahn vorgesehen ist.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß zu dem Mittelleiter (6) Kondensatoren ($C_K, C_{K1} - C_{K3}$) zur Kompensation des induktiven Spannungsabfalls in den langen Primärkreis in Reihe geschaltet und so auf die Gesamtlänge des Mittelleiters verteilt sind, daß die Kompensation in mehreren Abschnitten mit technisch beherrschbaren Teilspannungen ($K_{01} - K_{01}$) erfolgt.

18. Verfahren zur gleichzeitigen berührungslosen Übertragung und individuell einstellbaren Leistung auf mehrere bewegte Verbraucher mit einer der Anordnungen nach Anspruch 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertrageranordnungen von einer Mittelfrequenzstromquelle (MFG) mit einem konstanten, von den Spannungen (U_{V1}, U_{V2}) der Verbraucher (VB1, VB2) unabhängigen Strom (I_1) gespeist werden, und auf den bewegten Verbrauchern elektronische Stellglieder die Verbraucherspannungen (U_{V1}, U_{V2}) der übertragenen Leistung entsprechend einstellen.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Einprägen eines konstanten Stromes (I_1) in eine der Übertrageranordnungen nach Anspruch 1 bis 16 mittels einer Mittelfrequenzspannungsquelle (MFG1) über einen aus einer Induktivität (L_E) und einer Kapazität (C_E) bestehenden Resonanzkreis erfolgt, wobei die Induktivität und Kapazität so bemessen sind, daß sie bei der Frequenz der Mittelfrequenzspannungsquelle (MFG1) in Resonanz sind und zwischen der Spannung (U_0) der Quelle (MFG1) und dem eingepprägten Strom (I_1) die Beziehung $I_1 = U_0 \cdot \sqrt{C_E/L_E}$ besteht und daß die Übertrageranordnung parallel zu der Kapazität (C_E) angeschlossen ist, die mit der Induktivität (L_E) und der Spannungsquelle (MFG1) in Reihe geschaltet ist.

20. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der in die Lastimpedanz (Z, Z') eines Verbrauchers (VB2) eingepprägte Strom (I_E, I_E') einem elektronischen Stellglied zugeführt wird, welches diesen Strom mittels einer Gleichrichterbrücke (GB) gleichrichtet und durch eine Speicherinduktivität (L_z) glättet und den so gebildeten

Gleichstrom (i_z) mit einer hohen Taktfrequenz abwechselnd über eine Diode (D) einer auf eine Gleichspannung (U_g) aufgeladenen Kapazität (C_G) zugeführt oder über einen elektronischen Schalter (S) in dessen Leitphase an der Kapazität vorbeileitet, wobei eine Regeleinrichtung (RG) die relative Sperrphase einer Taktperiode so verändert, daß den an die Kapazität (C_G) angeschlossenen Gleichspannungsverbrauchern (VB) bei schwankender Stromaufnahme die benötigte Gleichspannung zugeführt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen



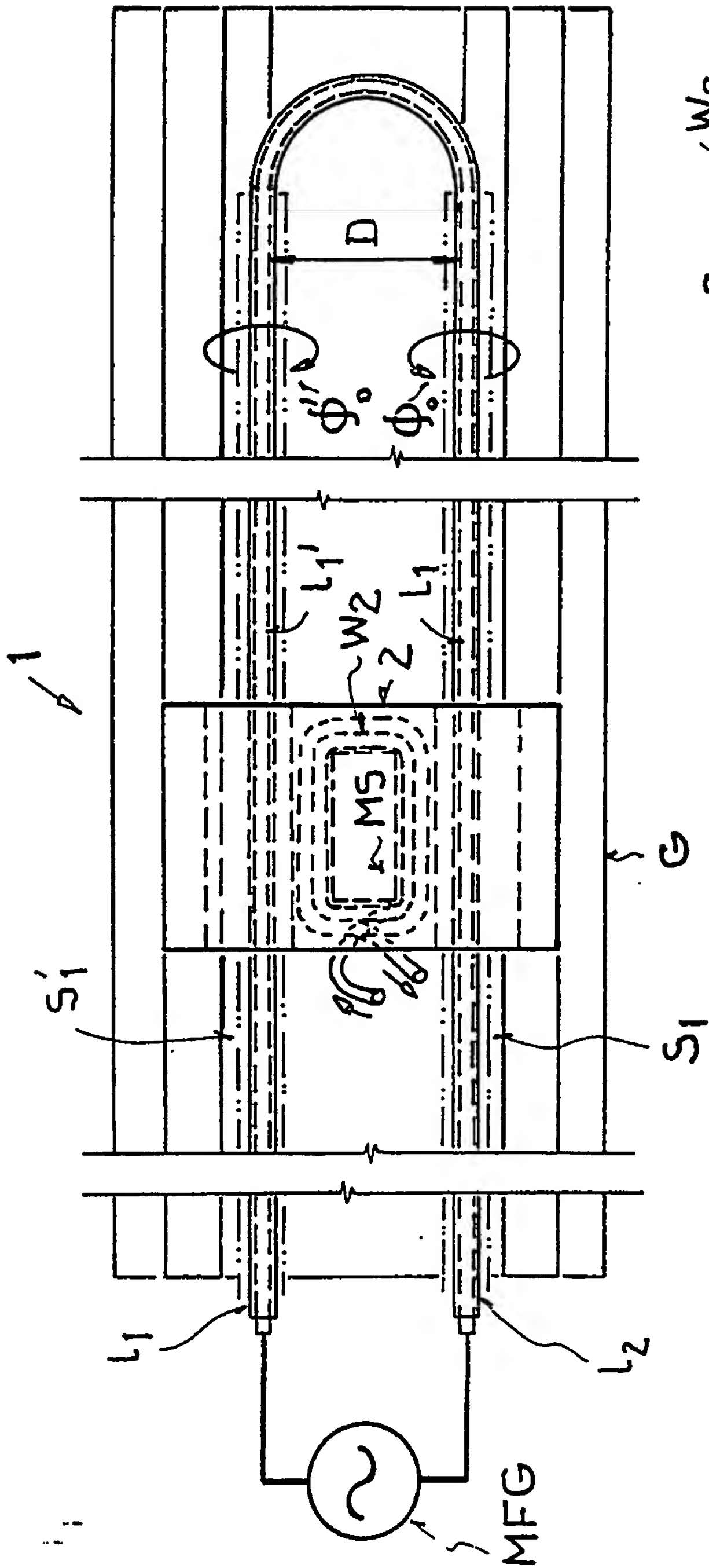


FIG. 1

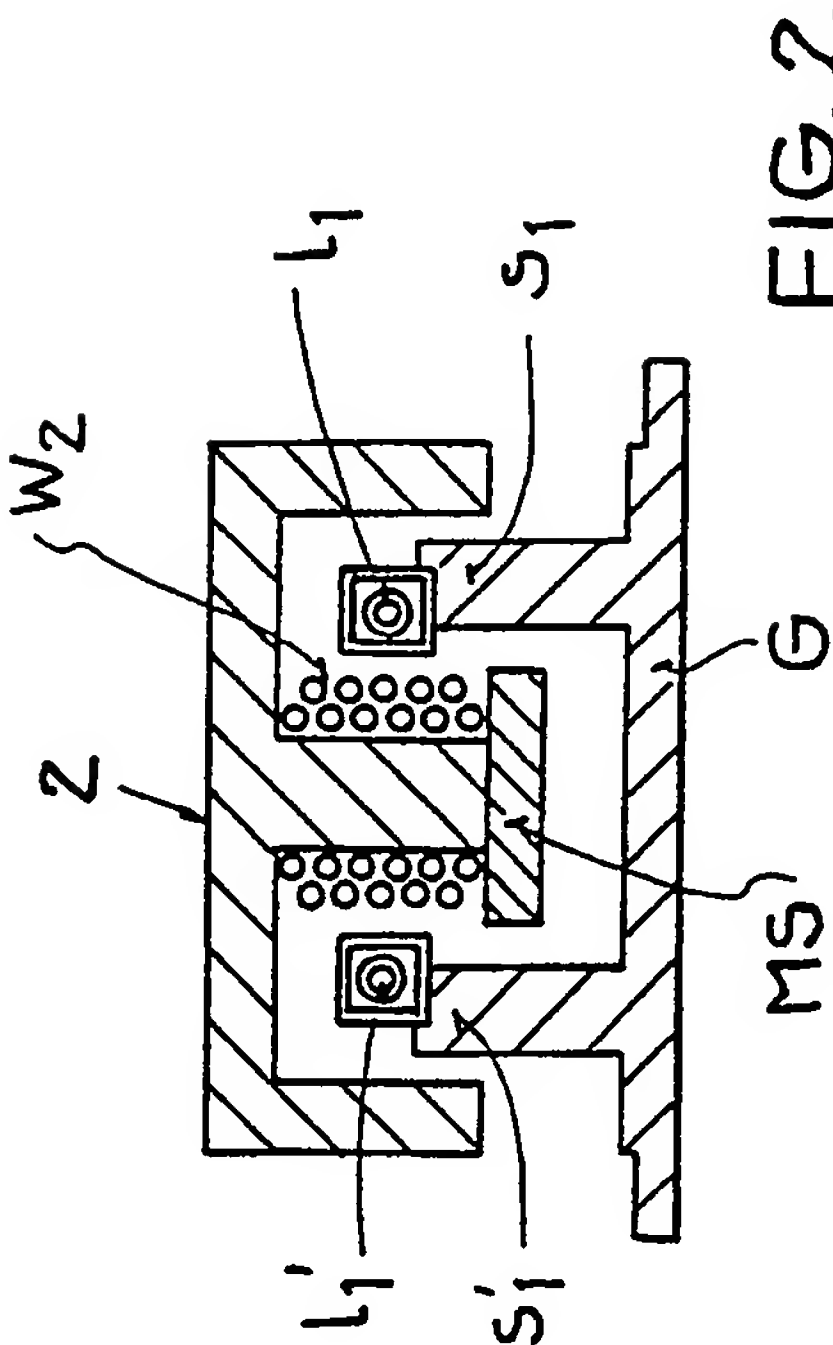
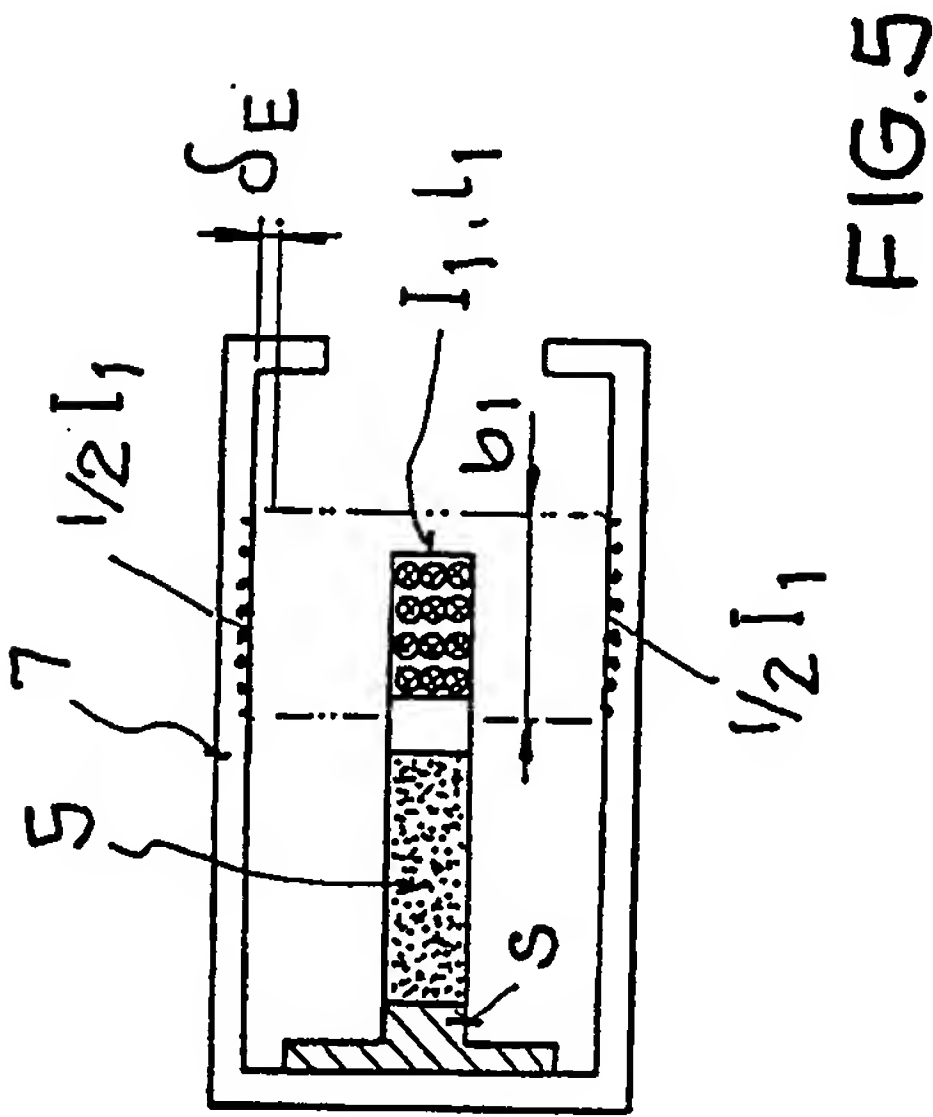
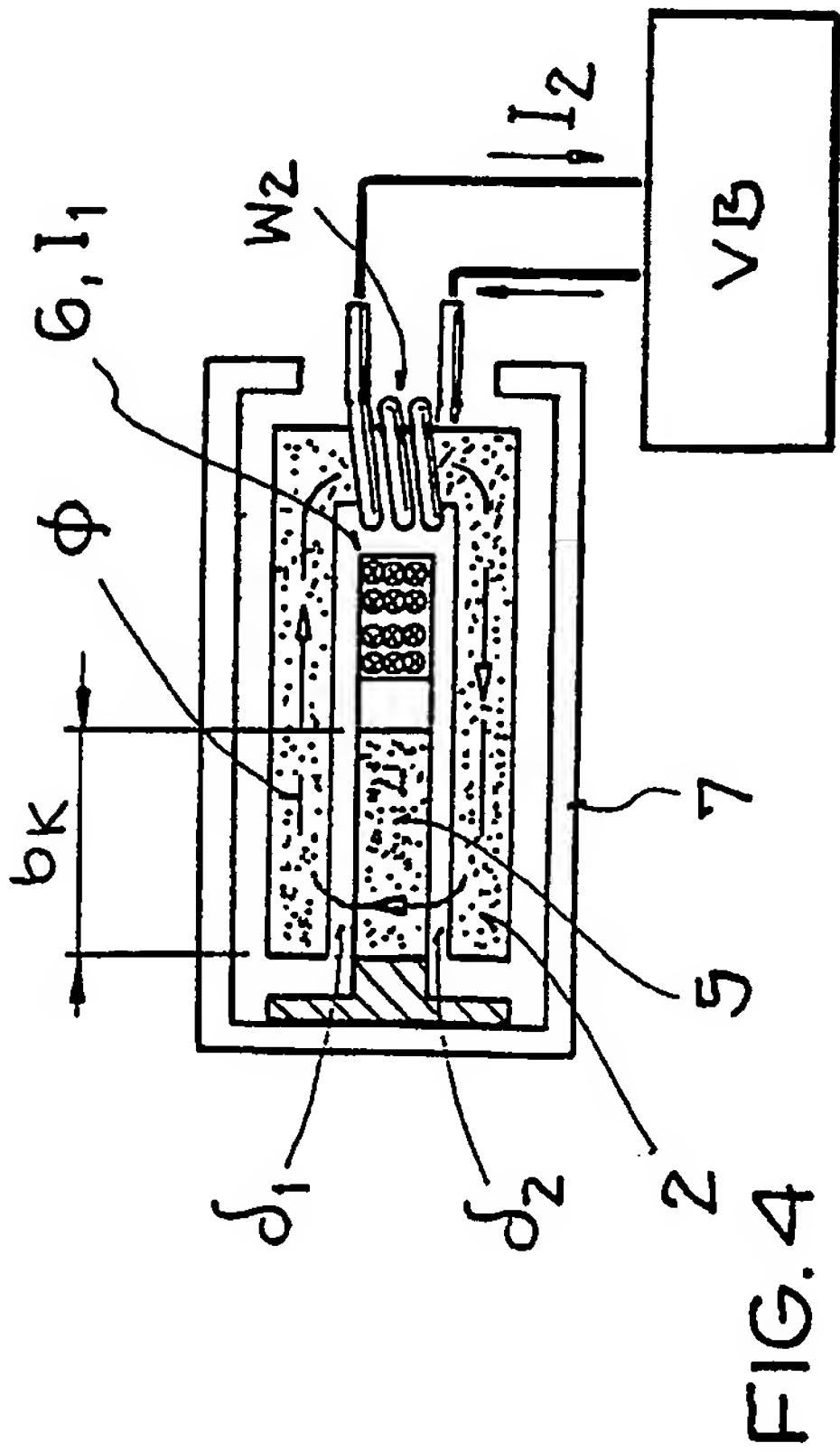
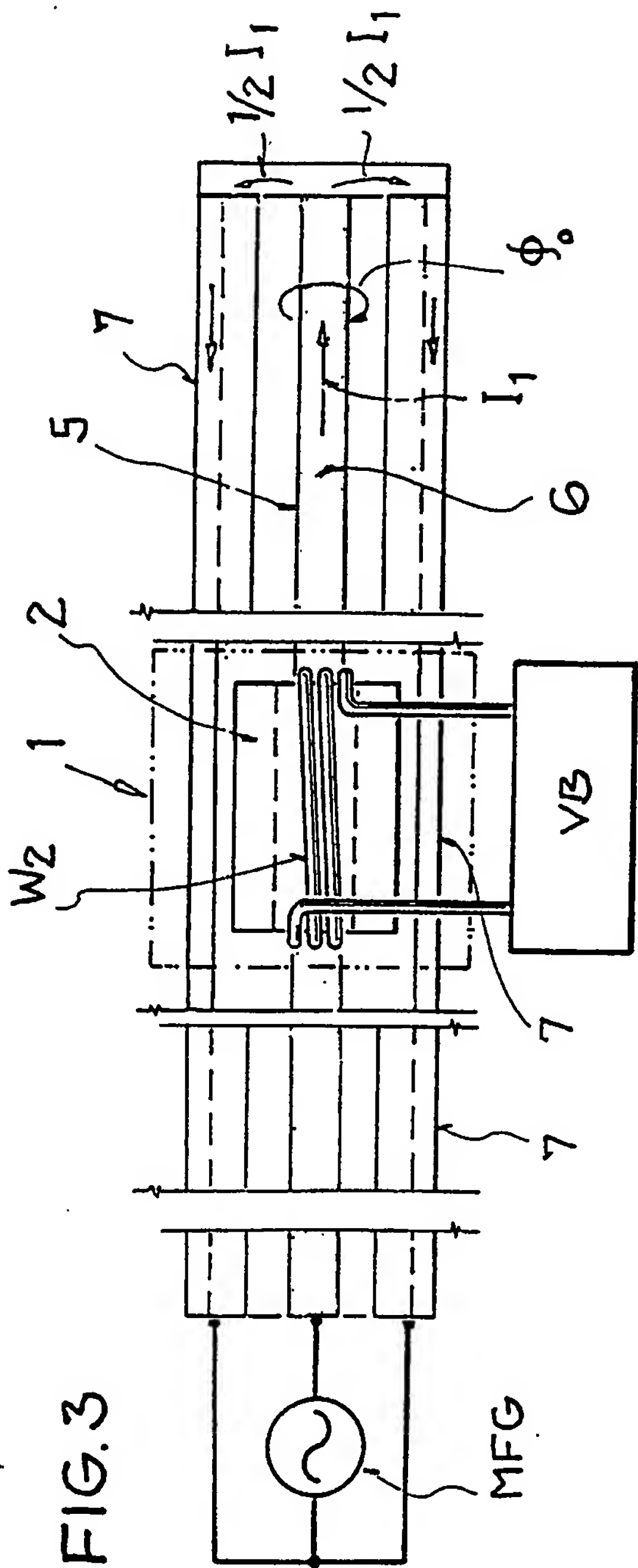


FIG. 2





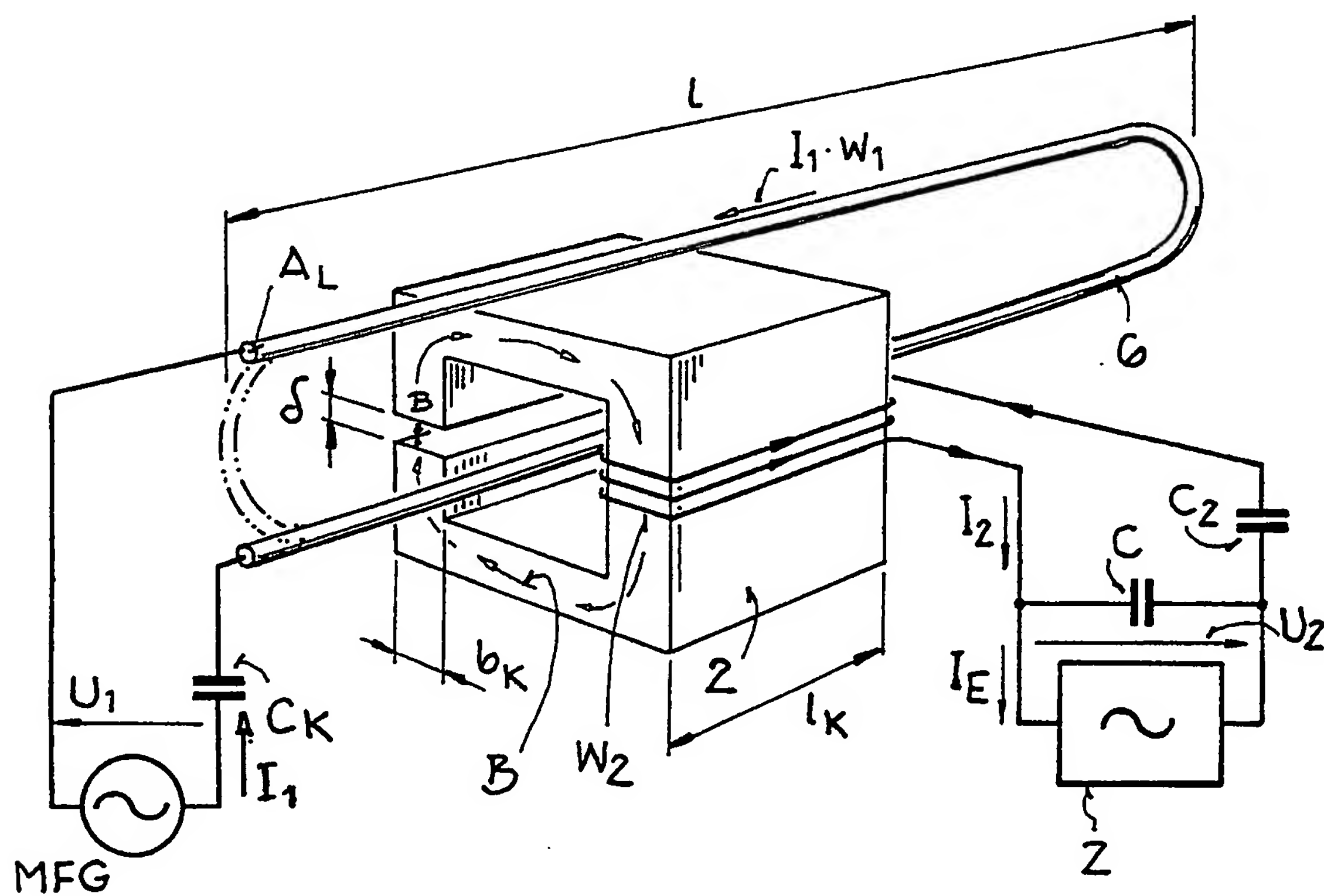


FIG. 7

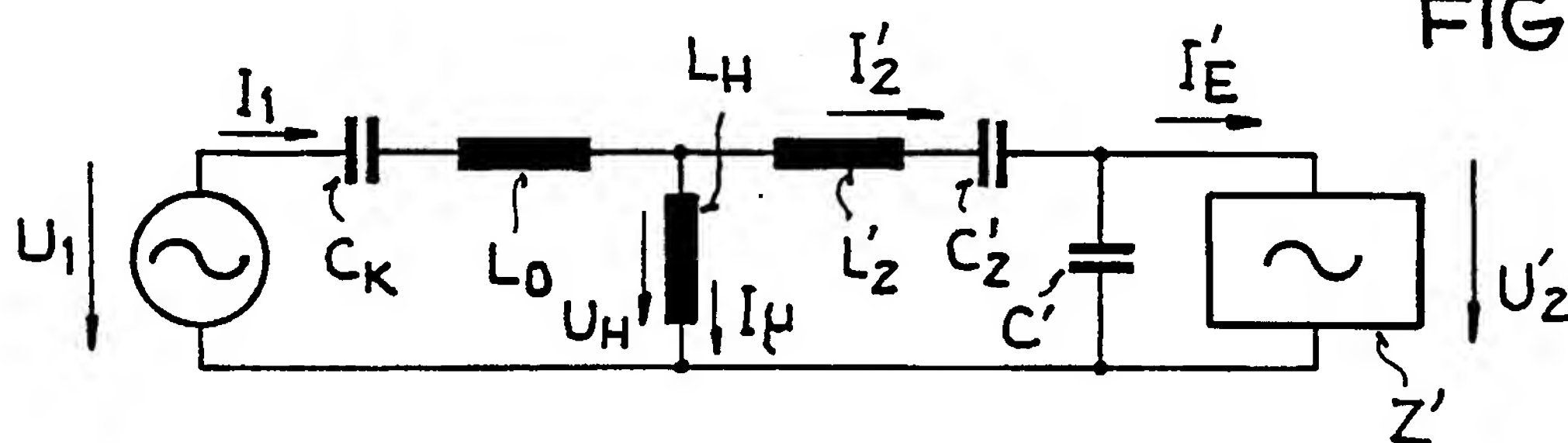


FIG. 8

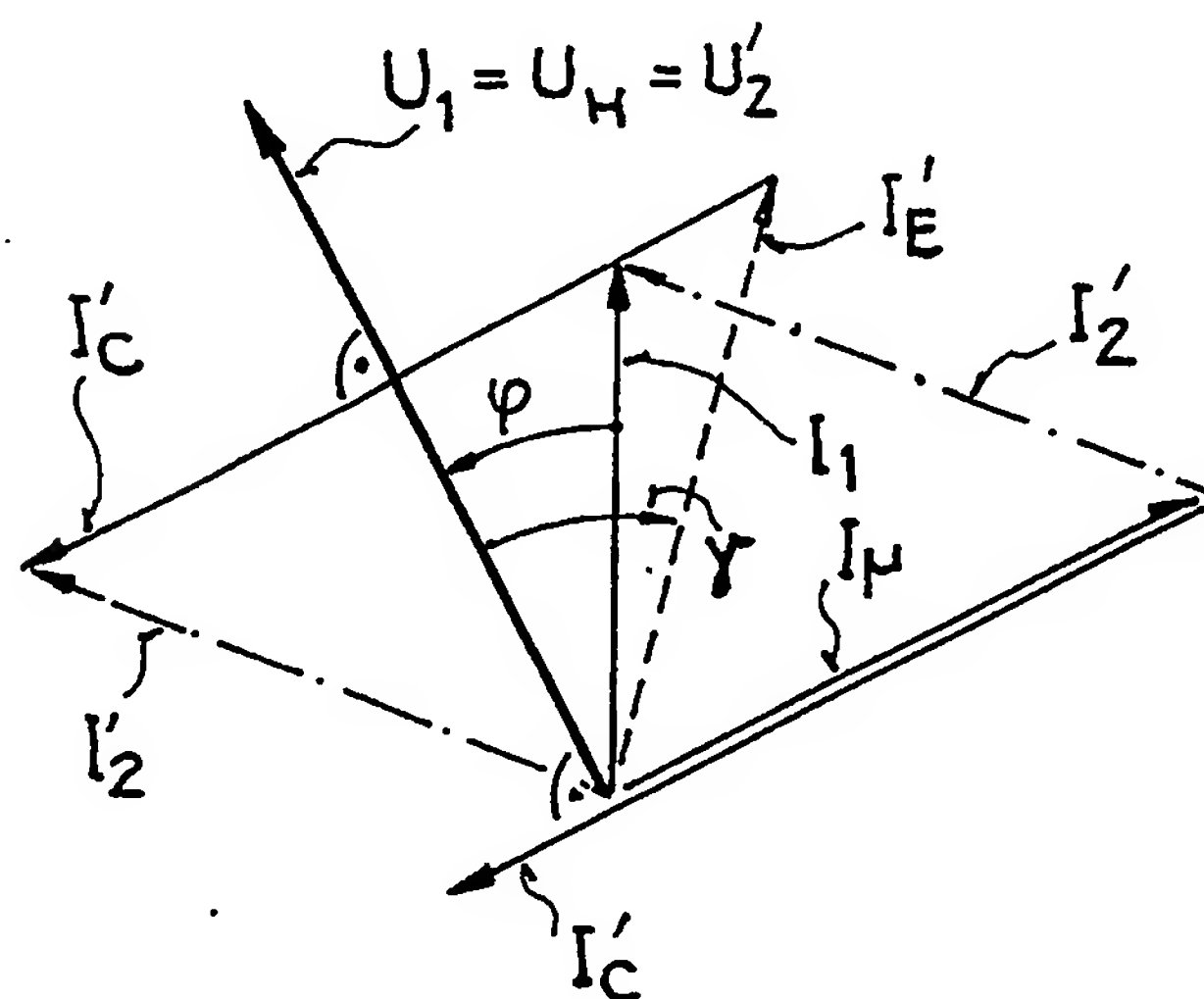
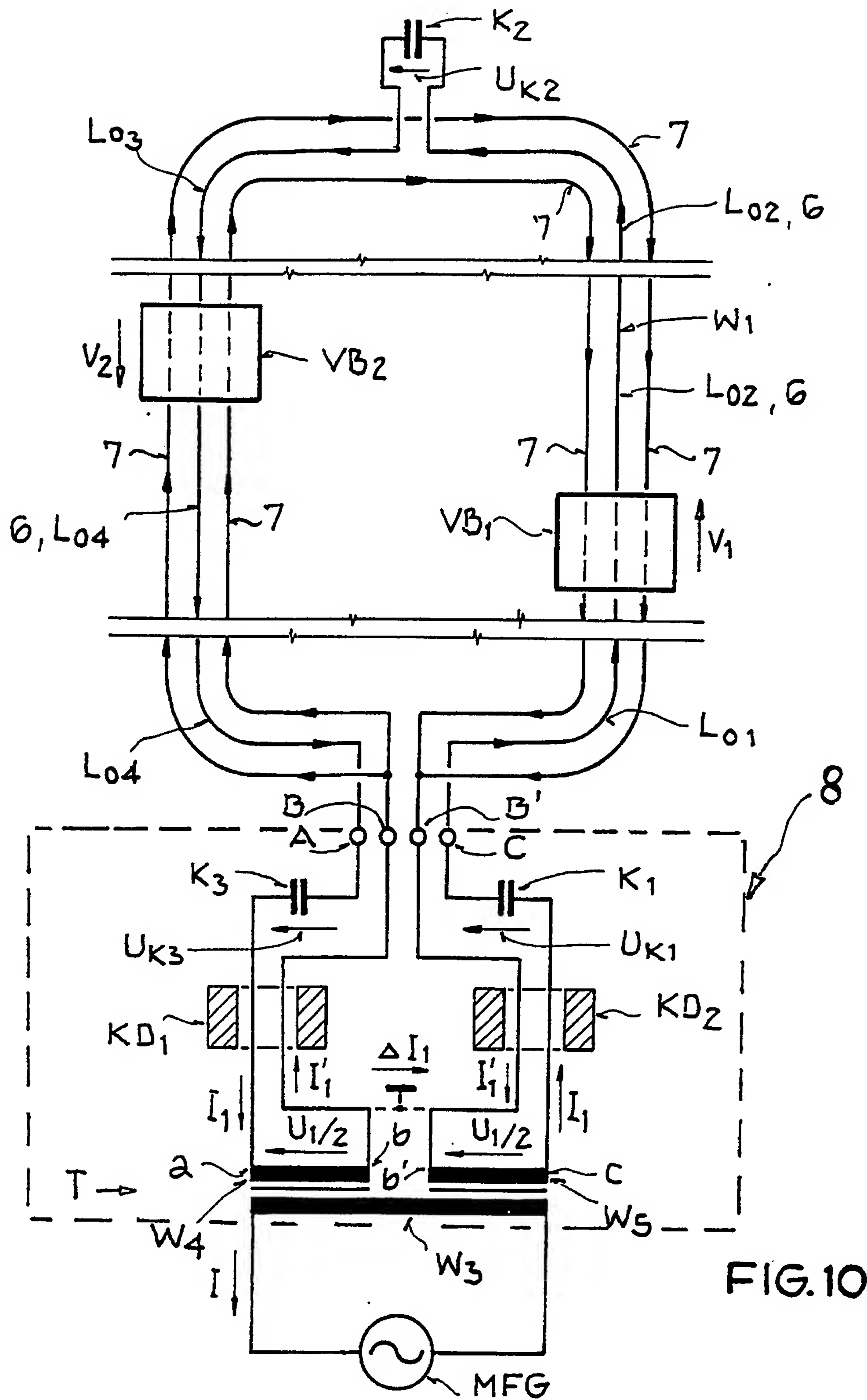
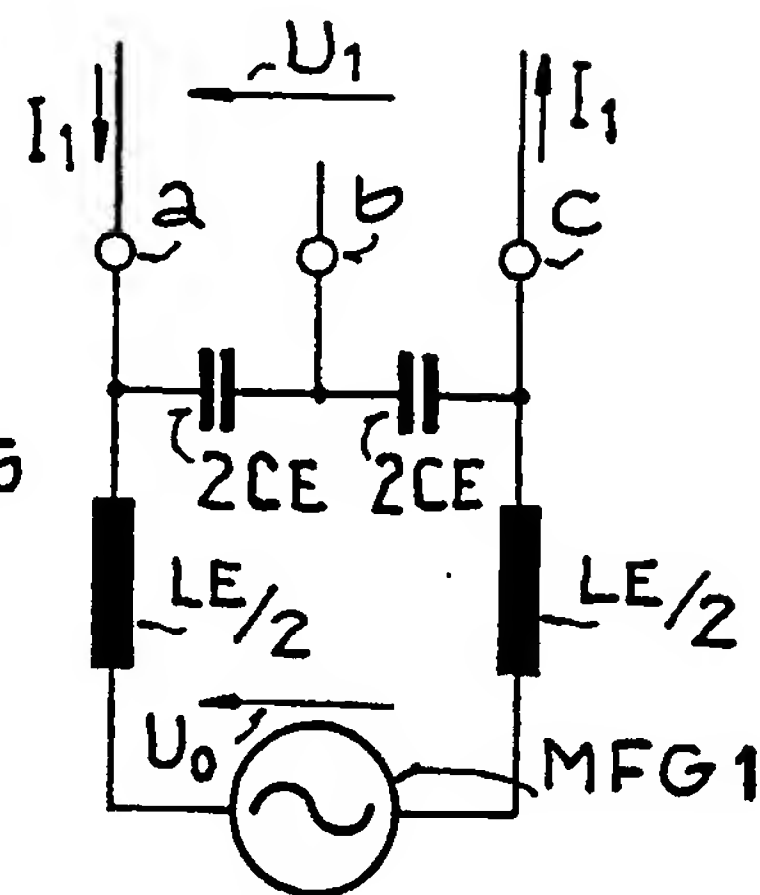
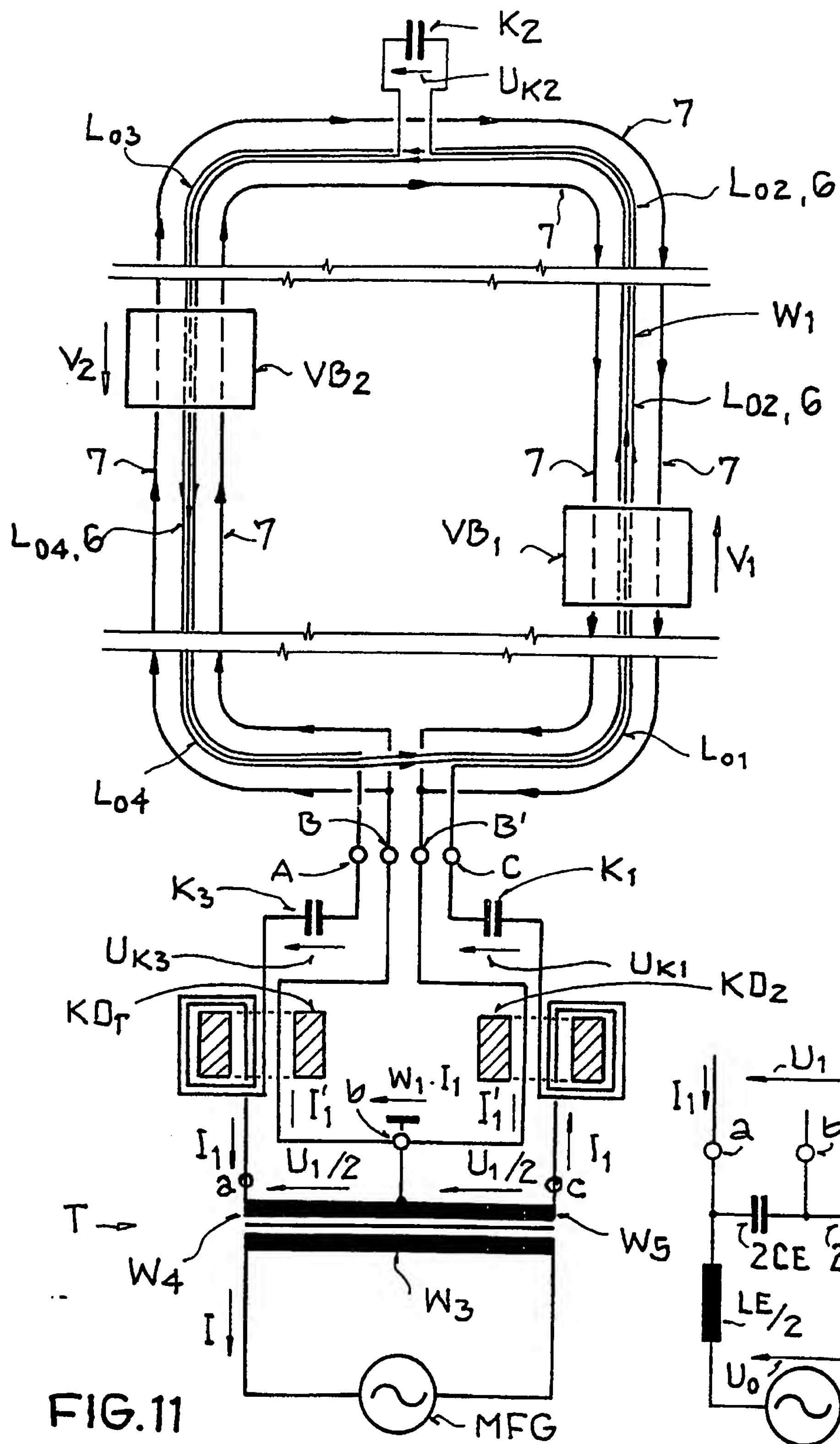


FIG. 9





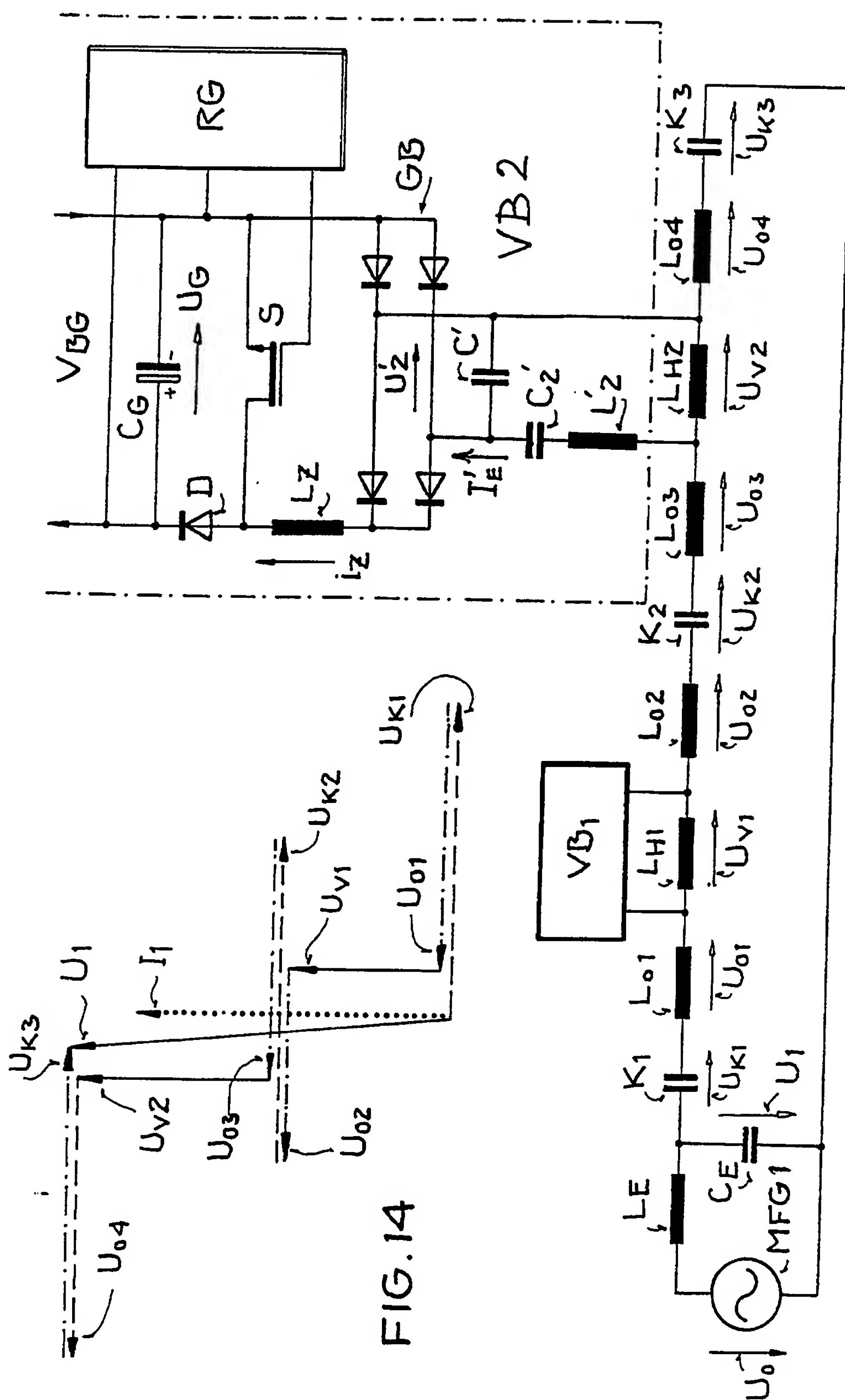


FIG. 13

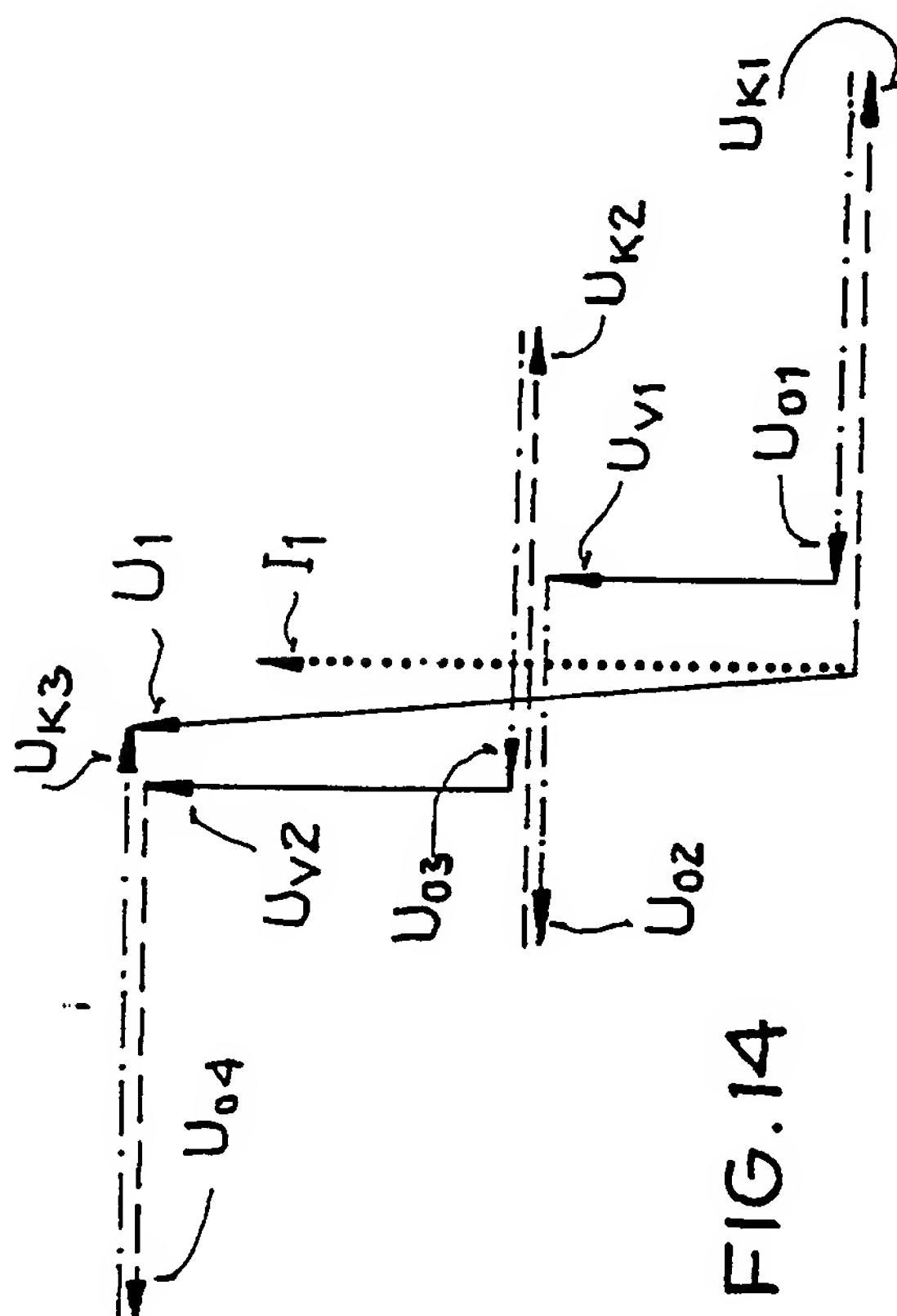


FIG. 14